

円形鋼製橋脚の地震時挙動を再現する解析モデルの提案

東京電機大学 正会員 ○石澤 俊希*

東京電機大学 正会員 井浦 雅司*

1. はじめに

単柱形式の鋼製橋脚を1次元モデルで解析する研究が報告されているが、それらの多くはシェル解析や実験結果を基にした構成則を用いている。著者らは¹⁾、1次元モデルの解析にあたり構造寸法と材料特性のみで構成則を作成し、全体解析を行う手法を開発した。しかし、文献1)の1次元モデルは縦リブ本数が多い場合、解析結果が実験結果よりも耐力劣化が大きくなる傾向にあった。本報告では、その点を改善し、実験結果との比較を行った。

2. 解析モデルの概要

本モデルは、図1に示すように長さ L_1 の弾性棒と長さ L_2 のファイバー要素の二要素によって構成される。ファイバー要素は局部座屈が発生する部分である。計算は、第1段階のファイバー要素部の圧縮解析と、第2段階の全体解析に分けられる。第1段階では、ファイバー要素を対象として軸圧縮力-軸変形量の関係から平均応力-平均ひずみの関係を求める。第2段階では、ファイバー要素の応力-ひずみ関係の圧縮側に、第1段階で得られた平均応力-平均ひずみ関係を適用して解析を行う。詳細は文献1)を参照されたい。

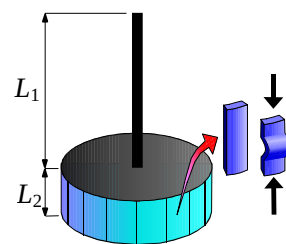


図1. モデル図

3. 解析モデルの修正点

① 応力-ひずみ関係

図2に全体解析で用いるファイバー要素における応力-ひずみ関係の骨格曲線を示す。曲線 $\overline{Oa}$ と $\overline{Oc}$ は、点 y_t と y_c を参照点としてMPモデルにより作られている。曲線 $\overline{cd}$ は、第1段階の解析で算定された平均応力-平均ひずみ関係を用いる。弾性係数比 E/E_t は、次式で仮定した。

$$\frac{E}{E_t} = 0.31 \frac{D}{t} \left(\frac{I_0}{I} \right)^2 \left(\frac{L}{D} \right)^{0.5} + 50 \quad \begin{cases} \leq 120 & (\text{SS400}) \\ \leq 100 & (\text{SM490}) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 D は円管の直径、 t は母材の板厚、 I_0 は母材断面の中立軸に関する断面二次モーメント、 I は母材と補剛材を合わせた断面の中立軸に関する断面二次モーメント、 L は基部から荷点までの長さを表す。

図2に示した応力 σ_{cm} 、 σ_{ty} 、 σ_{cy} は、最大圧縮応力 σ_{cm} を経験した後、それぞれ次式の σ_{cm}' 、 σ_{ty}' 、 σ_{cy}' に低下する（図3参照）。

$$\sigma_{cm}' = \sigma_e, \quad \sigma_{ty}' = \sigma_{ty}(\sigma_e/\sigma_{cm}), \quad \sigma_{cy}' = \sigma_{cy}(\sigma_e/\sigma_{cm}) \quad (2)$$

ここで、 σ_e は図3に示す除荷点 e における応力度である。

弾性係数の変化については、図3に示すように点 e で除荷を行った場合、その直後の弾性係数 E' は、次式により算出される。

$$E' = \tan \left(\frac{\tan^{-1} E_y + m \tan^{-1} E}{1 + m} \right) \quad (3)$$

ここで、 E_y は図3に示すように骨格曲線上の経験最大圧縮ひずみ点 e と引張降伏点 y_t を結んだ直線の傾きである。 m は図中の θ_a と θ_b の比であり、次式のように仮定した。

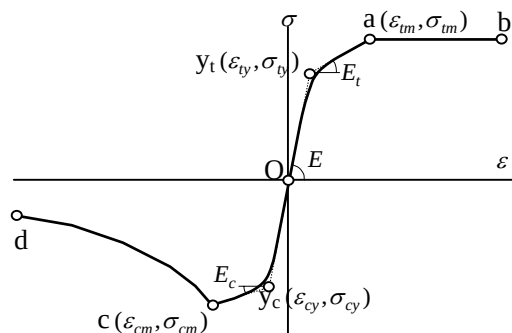


図2. 応力-ひずみ関係の骨格曲線

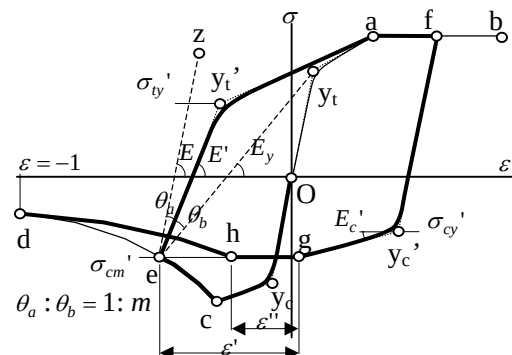


図3. 応力-ひずみ関係の履歴特性

キーワード 円形鋼製橋脚, 座屈, 地震時挙動

*東京電機大学理工学部 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 Tel: 049-296-2911

$$m = 13.86 - 0.03685 \frac{D}{t} \quad (4)$$

図3の線分 $\overline{y_t'a}$ は、引張降伏点 y_t' と経験最大引張応力点 a を結んだ線である。

次に、圧縮方向に除荷を行う場合について説明する。図4に示すように点 j で除荷を行った場合、弾性係数は初期弾性係数 E に回復するものとした。一方、点 a を超えない点 k で除荷を行った場合、弾性係数は E'' と仮定した。 E'' は除荷点 k と点 w とを結んだ線の傾きであり、点 w は点 a を通る傾き E の直線と点 i を通る傾き E' の直線との交点である。なお、図3に示す圧縮方向の二次勾配 E_c' は次式により算定される。

$$E_c' = \tan \left(\tan^{-1} E_c \frac{\tan^{-1} E'}{\tan^{-1} E} \right) \quad (5)$$

図3に示す線分 $\overline{gh}$ の長さは、次式から $\varepsilon''/\varepsilon'$ を算定し求める。

$$\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = 1.778 - 0.0111 \frac{D}{t} \left(\frac{I}{I_0} \right)^3 \leq 1 \quad (6)$$

② 補剛材の影響

第1段階のファイバー要素の解析における板厚は、次式から算出される等価板厚 t' を用いる。

$$t' = t + 1.342 \left\{ \frac{n_{rib} h_{rib} t_{rib}}{D \pi} \frac{\min(h_{rib}, 10t_{rib})}{10t_{rib}} \cdot R_t \cdot n_{rib} \right\}^{1.1827} \quad (10)$$

ここで、 n_{rib} は縦リブ本数、 h_{rib} は縦リブ高、 t_{rib} は縦リブ厚、 R_t は径厚比パラメータである。

③ 座屈長 L_2 の計算

座屈長 L_2 は次式により算出するものとした。

$$\frac{L_2}{\sqrt{I_0/A_0}} = 0.275 \left\{ \frac{D}{t} \frac{D}{L} \left(\frac{\sigma_y}{E} \right)^{0.5} \left(\frac{I_0}{I} \right)^{0.5} n_j^{-0.5} \right\}^{-0.596} \quad (12)$$

ここで、 A_0 は母材断面における断面積、 n_j は軸力の関数（ $1 - P_v/A_0 \sigma_y$ ）、 P_v は一定軸力である。

3. 実験結果と解析結果の比較

本モデルの妥当性を検討するため、文献2)のM23とM25の繰り返し載荷実験結果との比較を図5に示す。M23とM25の縦リブ本数は、それぞれ8本と10本である。図より、解析結果が実験結果と良く一致していることが確認できる。次に文献3)のNo.11とNo.13のハイブリッド実験結果との比較を図6に示す。図より、最大応答変位および残留変位が実験結果とほぼ一致していることが確認できる。

【参考文献】

- 1) 石澤, 井浦: 構造工学論文集, Vol.50A, pp.477-486, 2004.3
- 2) 半野, 田嶋: 構造工学論文集, Vol.45A, pp.207-214, 1999.3
- 3) 日本橋梁建設協会・震災に関する調査特別委員会 鋼製橋脚の耐荷力に関する研究WG: 道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書(VII), 1997.4

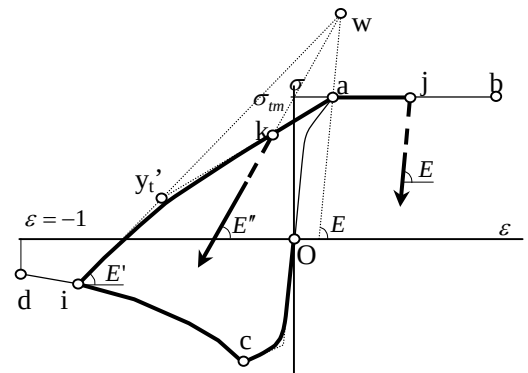


図4. 弾性係数の変化

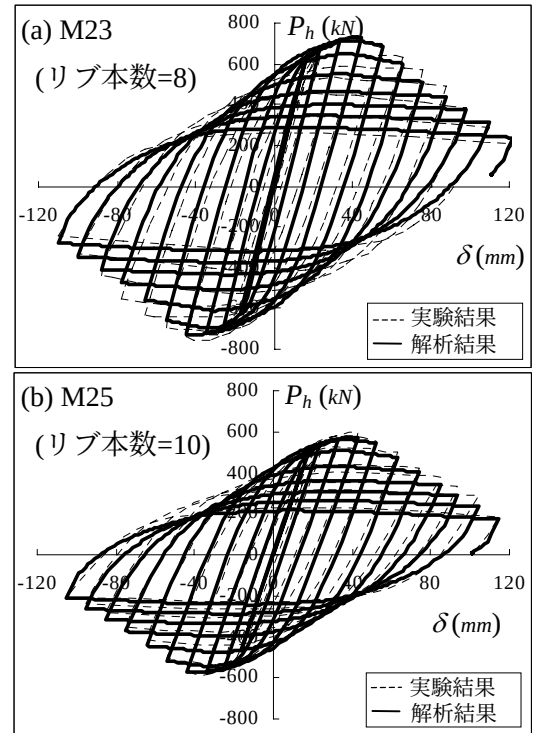


図5. 荷重-変位履歴曲線

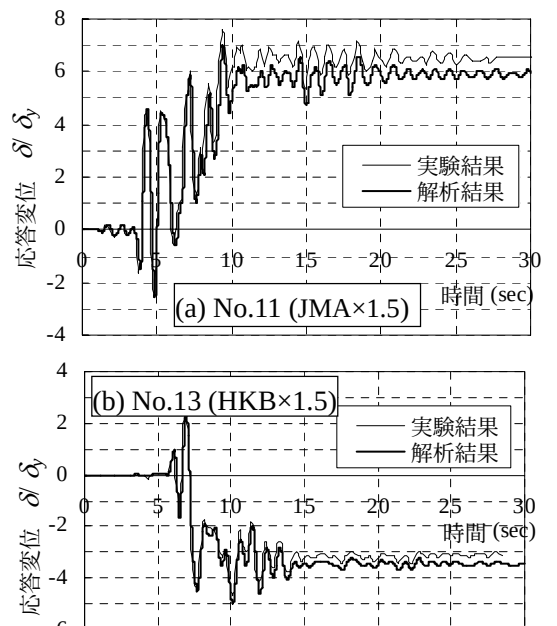


図6. 地震時刻歴応答